سلسلة : الثقافة الرياضية
إشراف أ. د زكي محمد محمد حسن
أ.د أحمد أمين فوزي
العدد (٨)

التغيرات البيوميكانيكية
خلال مراحل النمو

الأستاذ الدكتور
عادل عبد البصير علي
أستاذ الميكانيكا الحيوية و العميد المؤسس لكلية التربية الرياضية ببور فؤاد ببور سعيد
جامعة قناة السويس

٢٠٠٤

المكتبة المصرية
للطباعة والنشر والتوزيع
٣ ش أحمد ذو الفقار – لوران الإسكندرية
تليفاكس ٠٠٢/٠٣/٥٨٤٠٢٩٨
محمول ٠١٢٤٦٨٦٠٤٩

بسم الله الرحمن الرحيم

التغيرات البيوميكانيكية خلال مراحل النمو
Biomechanical changes through out in life span

إعــــداد
أ. د/ عادل عبد البصير علي

بيـــنما يـــنمو ويـــتطور الجسم، تحدث تغيرات تؤثر علي ميكانيكية تحـــركه. فمـــثلاً بينما يكبر الطفل، تزداد كتلته، وطول أطرافه، وتغير هذه التغـــيرات الأحمـــال التى تتحملها مختلف المفاصل، والعضلات، والأربطة والأوتار. ويعتبر عنصرا هاما كيف تغير متغيرات النمو بيوميكانيكية الحركة للفهـــم الشامل لحركة الإنسان عبر حياته، لذلك سوف يحاول الباحث في هذه الدراســـة المرجعـــية دراســـة التغيرات الحادثة في مفاهيم القصور الذاتي، والكفاءة، والقياس الحيوي الذي بحث اختلاف حجم جسم الإنسان والنشاطات الأساســـية لفعل الوقوف والجري والحفاظ علي الأتزان نتيجة لما يحدث من تغـــيرات عبر حياة الإنسان. بالإضافة إلي أهمية التغيرات الحادثة في ابعاد الأطراف وعلاقتها بأبعاد الجسم وتحمل الحمل، والتغيرات في مساحة السطح وحجـــم الجسم مع الوضع في الاعتبار أيضاً شدة الأحمال علي جسم الإنسان وتوليد الأكسجين إلي الخلايا العاملة.

*** تغيرات القصور الذاتي: Inertia changes**

القصـــور الذاتـــي هو قصور الجسم وعدم قدرته علي تغيير حالته، ويقـــاس فـــي الحركة الخطية والحركة الزاوية عن طريق إدراك كتلة عزم القصور الذاتي علي التوالي.

عـــبر العشـــرة ســـنوات الأخـــيرة أشار شميدث نيلسون (1991) Schmidt Nelson عـــن بـــوب جنســـين Bob Jensen إلي عدة مفاهيم ومعلومـــات عن الطريقة التى يؤثر بها النمو علي القصور الذاتي للإنسان.

أستخدم في عمله كلا الطريقتين الطولية والمرجعية لفحص كيف يتغير عزم القصور الذاتي ومركز الكتلة بين الطفولة والمراهقة (٥ : ٩٠).

تـزيد كـتلة الطفل خلال نموه وبالتالي أطرافه، لذلك يزيد القصور الذاتـي لكـل جزء من الجسم خلال سنوات النمو أكثر من هذا يتغير الطول النسبي لمختلف أجزاء الجسم، وتصبح الرأس أصغر بالنسبة للجسم، وخلال العمـر تظهـر الكـتلة النسبية لمختلف الأجزاء كنسب مختلفة في الأطفال بالمقارنة بالبالغين، وكمثال توصل بوب إلي أن كتلة الرأس في طفل سنه ٤ سـنوات تمثل ٢٠% من كتلة الجسم، بينما في سن ١٢ سنة تقل إلي ١٠% وفـي سـن ٢٠ سنة تقل إلي ٧% وعلي الجانب الآخر تزيد نسبة العضد، والسـاعد خلال سنوات النمو بينما كتلة اليدين بالنسبة إلي كتلة الجسم تظل ثابـتة، ويتـبع القـدم نموذج مشابه لليدين، بينما تظهر الرجل والفخذ زيادة مبدئـية حتى نهاية المراهقة متبوعة بنقص نسبة الكتلة، توالي التغير الحادث فـي الأطـراف (الـرجل، الفخذ، العضد، الساعد) صغير (≥ ٢%) خاصة بالمقارنة بالتغيرات في كتلة الرأس.

من المؤكد أن الحوادث الناجمة عن سقوط الأطفال تمثل خطرا كبيرا علـي إصابات الرأس عند الأطفال عن الكبار وبالرغم من إثارة الجدل حول هذا الموضوع إلا أن الكبار نتيجة لقدرتهم علي التحكم في التحرك وخبرتهم يملكـون القدرة علي الحماية من السقوط عن الأطفال، أيضا من المحتمل أن كبر أبعاد الرأس في الأطفال بالنسبة لحجم الجسم تجعل الرأس أكثر عرضة للإصابة أكثر من هذا بسبب أن الرأس كبيرة نسبيا (٢٠% من وزن الجسم) بالمقارنة بالبالغين (٧%) يكون الطفل الصغير ثقيل القمة مما يجعله أقل ثباتا من البالغين. يعني هذا النقص في الثبات تمهيدا لحوادث السقوط.

نفـترض أن هـناك محورين (أ) له كثافة موحدة والآخر (ب) ثقيل الـرأس ولكـن المحورين متشابهين في الكتلة ويمثل العمود الأول الشخص البالغ (أ) والعمود الثاني يمثل الطفل (ب) مع إختلاف نسب جسميهما.

كمـــا يفترض أن مركز ثقل العمود (أ) هو ٥٠% من ارتفاعه بينما العمـــود (ب) مركـــز ثقلـــه ٦٠% من ارتفاعه، لو العمودين عرضوا لقوة خارجـــية مـــثل التى تحدث في حالة السقوط. سوف تحدث قوة الوزن عزم torque بتسارع زاوي للعمود نحو الأرض.

يعتمد حجم هذا العزم torque علي وزن العمود ومسافته من القاعدة عـــند أي زاوية بين الوضع العمودي والأرض، ذراع عزم قوة وزن العمود (ب) يكـــون الأكـــبر من العمود (أ) لذا يتسبب العزم في سقوط العمود (ب) ويكـــون الأكبر بالرغم من أن وزن كلا العمودين متساوين، لذلك نستخلص من هذا التشابه أن الطفل بمجرد ان يفقد التوازن يتسارع نحو الأرض أسرع من الشخص البالغ بسبب كبر حجم الرأس وكتلتها.

أحد النتائج المهمة لدراسات جنسين ارتباط نصف قطر دوران أجزاء الجســم بوضع مركز ثقل الكتلة، يرتبط نصف قطر الدوران بعزم القصور الذاتي في أي جسم صلب وهو المسافة من المحور الذي يحدث حول الدوران إلي النقطة التى عندها كتل متساوية لها نفس المقاومة للدوران كتوزيع الكتلة.

عـــندما يعـــبر عن هاتين المسافتين بأجزاء من طول أجزاء الجسم، تـــبقى النسب غير متغيرة خلال النمو حتى السن المتأخرة ويبقي نصف قطر الـــدوران ثابـــت حوالي ٣٠% برغم التغير المطلق في الكتلة والطول. وفي مجـــال التطبـــيق تشير النتائج إلي أن الكثافة وشكل الأطراف تبقي متشابهة خلال مراحل العمر بهذا المعنى تبدوا أطراف الأطفال متناسبة القياس طوال مراحل العمر.

برغم حقيقة أن الموضع النسبي لمركز الكتلة لأجزاء الجسم ونصف قطـــر الـــدوران يظل ثابت عبر العمر، إلا أنه يوجد تأثيرات مميزة للتغير المطلـــق الـــذي يحـــدث في هذه المقاييس حيث أن كل من الكتلة، والأطوال وعزم القصور الذاتي للأطراف والجذع بالنسبة للشخص البالغ أكبر منها في الأطفال. إذن ما هي التأثيرات في الحركة؟ تسارع الطرف أو الجزء الطويل أكثر صعوبة من مماثلة القصير، خاصة إذا كان أثقل من القصير. ولوحظ أن

الأشخاص البالغين الأطول لهم تردد أقل من الأطفال ومن الأشخاص البالغين الأطول في الجري، لا يستطيع البالغون الطوال تحريك طرفهم السفلي بنفس السـرعة مثل البالغين الأقصر أو الأطفال. ومع ذلك نتيجة لأطراف الأطفال القصـيرة نسبياً مطلوب منهم أن يقوموا بخطوات أكثر لتغطية نفس المسافة عـن الأشخاص البالغين. وبسبب نقص طول الخطوة بالنسبة لقصر الطرف السفلي والنقص وعزم القصور الذاتي وزيادة سرعة تحرك الأطراف يتطلب الأمر من الشخص القصير زيادة عدد الخطوات (تردد الخطوة) لتغطية نفس المسافة التى يقطعها بسبب نقص طول الخطوة (٢: ١٦٠).

*** الكفاءة Efficiency:**

الكفـاءة هي نسبة الشغل الميكانيكي الخارجي (مقارنة بالارجوميتر) التكلفة الفسيولوجية. والسؤال الذي يطرح نفسه هل الكفاءة تتغير بتقدم السن؟ بالـرغم مـن أن هـذا السؤال مازال غير مجاب عليه بدرجة كبيرة إلا أن الأطفـال ربما يكونوا أقل كفاءة من الأشخاص البالغين في مجال النشاطات شاملة المشي والجري.

يوضـح علمـاء وظـائف الأعضـاء أن اقتصادية الجسم في تكلفة الأوكسجين لعمل كمية ثابتة من الشغل تتغير مع السن (٣ : ٢٦٨).

***مثال:**

يتطلب الطفل كميات أكبر من الأوكسجين لكل كيلو جرام من الجسم مسافة ثابتة عن الشخص البالغ. وأكثر من هذا، في الطفل النامي ربما يظل ثابت أقصي استهلاك للأوكسجين، بينما يتحسن الاقتصاد في الممارسة ومن ثم، للجري بسرعة منتظمة بشغل في سن الثامنة يكون بنسبة كبيرة عن طفل فـي سن الثانية عشر سنة. والسبب في هذا التغير في الأقتصاد كبير يشمل عدة عوامل منها:-

- ❖ الإزاحـة الرأسـية لمركز ثقل الكتلة خلال نمو الطفل، التى توجد ترد رأسي أقل.

- زيادة طول الخطوة.
- نقص الإنحراف الخارجي.
- القدرة الأكبر لنقل الطاقة بين أجزاء الجسم.
- تغير تركيب الجسم.
- تحسن نماذج استخدام الطاقة والقدرة علي التحكم في النفس (الطفل الأكبر والبالغ لهما قدرة كبيرة علي التحكم في سرعة الجري وبهذا يتفادي التعب السريع).
- تغير قوة العضلات، المطاطية، نوع الألياف والدعم الدموي.
- تغيير نسبة مساحة السطح بالنسبة للكتلة.

إن الهدف من الجري هو تحريك الجسم أفقياً، وبهذا الأكثر كفاءة هم الذين يؤدون هذه المهمة بأقل طاقة بقدر الإمكان. لو تحرك الجسم لأعلي ولأسفل، يبذل الشغل في رفع مركز كتلة الجسم. لسوء الحظ عندما تعود هذه الطاقة عند سقوط الجسم خلفا للأرض، لا يوجد هناك ميكانزم جيد ومناسب لتخزين هذه الطاقة وتفقد كحرارة.

وبمعني آخر العضلات التى تعمل في رفع الجسم لا يمكنها تخزين الطاقة، كطاقة مثلي، عندما يهبط الجسم مرة أخري، لذلك هذا الشغل يعتقد أنه مستهلك بما أنه لا يجذب الجسم للأمام. ويكون مثل هذا الفقدان للطاقة غير كفء.

يجب ان يصاحب زيادة طول الخطوة بنقص في تكرار الخطوة عند ثبات سرعة الجري (بما أن سرعة الجري هي ناتج للعاملين) بينما الطفل ينمو، طول الخطوة stride length الطبيعي المفضل يزيد استجابة لطول الطرف limb length لذا يجب أن يقل تردد الخطوة stride frequency للجري بسرعة منتظمة. توجد عدة أسباب محتملة لتحسن الاقتصاد كدالة لزيادة طول الخطوة. أحد هذه الأسباب هو أن كمية الشغل الداخلي تقل. لذا فلو كان تردد الخطوة منخفض الشغل المبذول في تحرك أعضاء الجسم

لأعلي ولأسفل وللأمام وللخلف يكون أقل بينما ينتقل مركز كتلة الجسم للأمام (٥ : ٦٤٤ – ٦٤٦) كلما زاد عدد الخطوات المطلوبة لكم معين من الشغل الخارجـــي كلمـــا زاد الشـــغل الداخلـــي. وبمـــا أن الشغل الداخلي له تكلفة فســـيولوجية، تقل الكفاءة بسبب أن استهلاك الأوكسجين يزيد بدون أداء أي عمل خارجي إضافي.

الطفـــل له قدرة تردد عالية رأسية لمركز ثقل الجسم عن الأشخاص البالغيـــن. وتـــبعاً لذلـــك يفقد الأطفال طاقة أكبر في تحريك مركز أجسامهم لأعلـــي ولأســـفل عـــن الأشخاص البالغين وكل هذه الحركة الرأسية تكون مضـــيعة للمجهـــود. بينما الطفل ينمو طريقة الجري تتغير والحركة الرأسية للجسم تقل، وتؤدي إلي زيادة اقتصادية الجري.

بالنسبة للأشخاص البالغين الحركة من الجانب للجانب أو الإنحراف الجانبـــي للجســـم صـــغيرة بينما في الطفل هذه الحركة كبيرة. أيضاً بالمثل الحـــركة الرأسية للجسم في الطفل أكبر من الحركة الرأسية عند الأشخاص البالغين. والحركة الجانبية للجسم وأجزائه كفاءتها عكسية بما أن الإنحرافات عموديـــة علي إتجاه الحركة المطلوبة والطاقة المستخدمة في تحريك الجسم مـــن جانب إلي جانب غير مفيدة وبدون كفاءة. ربما الانحرافات الجانبية أقل كفـــاءة من الحركة لأعلي أو لأسفل والسبب ليست فقط لأنها تطلب شغل من العضلات لتحرك الجسم في إتجاه وإنما لأنها أيضاً تجبر العضلات علي بذل شغل مساوٍ لعودة الجسم مرة أخرى إلي الوضع الأصلي.

مجموعـــة حركات أجزاء الجسم للمؤدى الماهر ثابتة جداً وصممت لتفـــيد وضـــع المطاطـــية فـــي تركيبات مثل الأوتار والعضلات. مثل هذا الاســـتخدام يزيد نقل الطاقة بين وخلال أعضاء الجسم. عندما يمكن تخزين الطاقة في الأنسجة المطاطة، خاصة خلال النشاط اللامركزي، الجسم يمكنه اســـتهلاك الطاقة لتوليد طاقة حركية فيما بعد. الميزة في هذا النقل أنه أكثر كفـــاءة لتقليل الوقت بين مرحلة اللامركزية للحركة والمركزية. عن طريق

زيـــادة المهـــارة يتعلم الأفراد كيف تحرك أجزاء الجسم بكفاءة تشمل توقيت حركة أجزاء الجسم.

هـــذه الملحوظة دائماً تناقش بين المعلقون علي الرياضة عند وصف كيف أن الضارب الماهر لاعب الجولف يبدو أنه يلعب بلا مجهود. الرياضي الماهـــر يعلم كيف يشمل أجزاء الجسم بتوقيت مناسب خلال الحدث ويخزن الطاقة المطاطة التى تستخدم لتوليد طاقة حركية في وقت مختلف. عامة هذا الاستخدام الكفء للطاقة المطاطة أقل ظهوراً في الطفل النامي عن الشخص البالغ.

يـــبدو منطقـــي أن الأطفـــال تفقـــد أنسجة دهنية القوي المولدة من العضـــلات لعمل شغل يحرك الأنسجة علي الأقل مع فائدة فسيولوجية أقل. كمثال: الطفل الصغير له ٢٠% من جسمه دهون والشخص البالغ له ١٠% مـــن جسمه فقط، من ثم الطفل عنده كتلة إضافية يحركها، وهذه الكتلة ليست لهـــا مســـاهمة في عمل الحركة. واضح أن المعاناة الاقتصادية تنتج نتيجة للتكلفة الفسيولوجية المرتبطة بالشغل الإضافي لتحريك هذه الكتلة.

يمكـــن أن يـــؤدي تغـــير قوة العضلات، والمطاطية، ونوع الألياف والدعـــم الدمـــوي إلي تغيرات في الكفاءة فمثلا إذا عملت العضلات بأقصي جهد تؤدي بأقل كفاءة عما إذا عملت بجهد أقل من الأقصى. ربما يساعد في فهـــم ذلـــك التشابه مع السيارة. إذا عملت السيارة بالقرب من الحد الأقصى لإنتاج القدرة، كفاءتها تقل نتيجة عوامل مثل زيادة إنتاج الحرارة، عدم القدرة علـــي إزالة كاملة لمنتجات الهدم وزيادة الاحتكاك. يحدث سيناريو مشابه في الآلات الحـــية، حيث تصبح غير كفء نتيجة تراكم الحرارة عند العمل قرب الحد الأقصى. لذا لو الطفل عمل بالقرب من الحد الأقصى لينهي كمية معينة من الشغل الخارجي سيكون أقل كفاءة من الشخص البالغ، الذي يحتاج للعمل فقط بأقل من الأقصى لإنهاء نفس الكمية من الشغل (١ : ١٤٩ – ١٥١).

تتغـــير كثـــير من العوامل الفسيولوجية خلال نمو الطفل في أغلب الأحيان من الصعب جداً تقرير إذا كانت هذه التغيرات التى تحدث في كفاءة

الشغل الفسيولوجي عبر الحياة نتيجة لعوامل بيوميكانيكية مثل تحسن التكنيك أو القدرة علي تخزين واستهلاك الطاقة المطاطة أو إذا كانت نتيجة وظائف فسيولوجية مثل تحسن القدرة علي نقل واستخدام الأوكسجين.

* المقياس Scaling
* الأساسيات fundamentals

تستخدم قصة الطفولة في رحلات جوليفر Gulliver كمثال مألوف لتوضــيح الحالة التى فيها شكل الإنسان مقياس للارتفاع أو الانخفاض. في قصـــة سويفت Swift، الليليبوتيان lilliputian كانوا مماثلين لجسم الإنسان ولكــن أصغر من حجم الإنسان ١٢ مرة (أقزام). يستخدم مصوري الكرتون أيضـــاً المقاييس لخلق أبطال مجسمين وبأحجام كبيرة أو حيوانات بالكرتون بنســخ مــن الإنسان أو الحيوانات بمقياس رسم متناسق سهل الفهم والخلق ويعصب تحقيق ذلك في الأجسام الحية.

نــأخذ مــثال بــناء بلــوك مــن الوحدات المهندس عند التفكير في الأساســيات، يهــتم بــالوزن أو الحمل الذي يطبق عليه ويقوم بعمل العمق المناســب والطول والعرض. ولو أراد مع ذلك من خلال هذا المنظور زيادة مستويين فوق الموجود ببساطة أغلب الناس يعرفون أن هذا غير ممكن حيث أنه لكي تضيف مباني جديدة يجب ان يكون الأساسيات الموجودة تتحمل ذلك الوزن الإضافي.

هــذه المبادئ أيضاً تطبق علي الحيوانات والكائنات غير الحية. أما بالنسبة للكائنات الحية عند مقارنة الاختلافات في الشكل والوظيفة الحيوانات الصــغيرة والكبــيرة ليس في فقط الزيادة الكبيرة في (حوالي ١٠٠٠٠ مرة) لكــن يوجد تغير في الشكل وتركيب الأنسجة لتحمل القوة. فمثلاً عند مقارنة قــوة وزن جــناح أو رجل طائر توجد تكيفات. عظام الجناح أخف ومجوفة بيــنما عظــام الرجل سميكة وثقيلة وقوية عن الجناح. وتمثل هذه التغيرات تكــيفات للضغوط علي التركيب. يحتاج الطائر خلال الطيران إلي تقليل فقد الطاقة ولهذا العظام أخف وزناً، مع ذلك عند هبوط وزن الجسم كله يجب أن

يدعــم ولهذا الرجلين تمده بالدعم وتعطي عامل آمان. هذا النو ع من التكيف في المملكة النباتية والحيوانية.

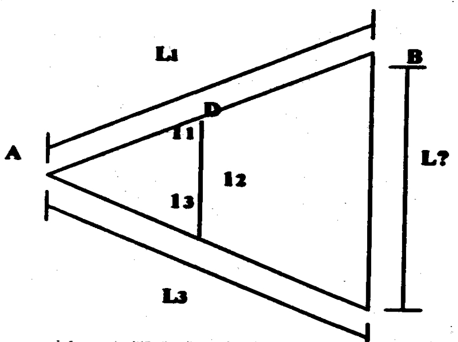
كمـــا يلاحـــظ أن أغلـــب العظام في جسم الإنسان مجوفة في الشكل المقطعـــي وهذا النوع من التركيب يعطي قوة كبيرة عن التركيب المصمت لـــنفس القطعة من المادة. والعظام المجوفة أقوي في الثني من الصلبة لنفس الوزن. عرف المهندسون هذه الحقيقة منذ زمن بعيد، وصانعوا العجلات هذه الأيـــام يســـتخدموا هذا المبدأ في إطارات عجل السباق. تصميم هذه الآلات يجب أن يكون قوي إلي حد يتحمل فيه الوزن. أفضل تصميم يقابل متطلبات التحميل علي هذه الآلات يشمل مقاطع رفيعة الجدران، ومجوفة تقلل الوزن وتزيد القوة (٤ : ١٠٠– ١٢٠).

يســـتخدم مقياس الرسم المناسب في تعديل ألعاب البالغين، والأنشطة الرياضية للأطفال هناك العديد من الأسئلة الهامة المتعلقة بمقياس الرسم في رياضيات الأطفال. فمثلاً في الرياضيات ما طول الحاجز للطفل ولأي مسافة تنظم مسابقات الجري؟ في ألعاب الكرة هل يعطي الطفل نسخة مصغرة من مضـــرب تنس الكبار او مضرب الجولف؟ الأفضل هو إعطاء الطفل أدوات تتناسب مع حجمه وتحمله، ربما نزيد المتعة والرضا والنجاح للطفل في هذه الألعاب المناسبة له.

تعرف دراسة التغيرات في التركيب والوظيفة للشكل والجسم بمقياس الرسم ويفحص مجال المقياس الأسئلة المتعلقة خصوصاً بطرق الأبعاد مثل: الارتفـــاع والقوة بينما الجسم يتغير في الحجم. الآن سوف ننظر إلي الأبعاد ونري كيف ترتبط. سنكتشف في هذا العمل تغيرات أبعاد كثيرة يمكن ربطها بالنمو في بعد واحد للجسم.

المقـــياس الهندســـي مألوف للجميع. الهندسة الأقليدية Euclidean geometry، تشـــابهه المثلـــثات الـــتى فيها الزوايا وأطوال الثلاث أضلاع متشابهة كما في الشكل (١). ويظهر نفس التشابه في المكعب في الشكل (٢) والذي فيه الأضلاع تبقي في نسب متساوية. وايضاً الخط للجوانب. وبمعني

آخر البعد الخطي لطول جانب مقياس (١ : ٢) لكن نسبة مساحة السطح هي (١ : ٤) (ودالـــة رباعية). وأكثر من هذا يختلف الحجم في النسبة (١ : ٨) (علاقة تكعيبية).



Δ S ABC and ADE are similar

$$\frac{l_1}{l_1} = \frac{l_2}{l_2} = \frac{l_3}{l_3}$$

شكل (١)

تشابه الزوايا ونسب أطوال الأضلاع في المثلثين المتشابهين

طريقة حسابية بسيطة لتوضيح هذه العلاقة باستخدام المعادلة التالية:

$Y = ax^{b}$ .... (1)

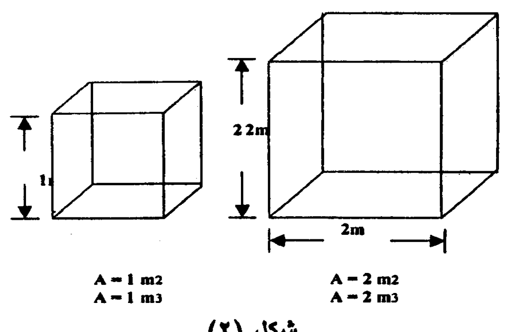
حيث أن Y= متغير مستقل ، a = مقدار ثابت

وباستخدام رموز مساحة سطح المكعب وحجم المكعب يمكن ان تكون العلاقة كما يلي:

$A = x^{2}$

$V = X^{3}$ .... (2)

حيث أن A= مساحة سطح المكعب، X= طول ضلع المكعب، V= حجـــم المكعب. هذه الرموز يمكن أن تمتد لرسم العلاقة بين مساحة السطح والحجم. والشكل (٢) يوضح هذه العلاقة بيانياً.



شكل (٢)

مكعبان متشابهان لهما أطوال أضلاع تظل في تناسب ثابت

عندما ترسم مساحة مسطح مكعب مقابل الحجم تكون المعادلة:

$$A = av^{3/2} \quad \text{.....................} \quad (3)$$

وإذا رسمت مساحة المسطح لكل وحدة حجم شكل (٢) تأخذ العلاقة شكل المعادلة التالية:

$$A = av^{1/3} \quad \text{.....................} \quad (4)$$

ويشير ذلك إلي أن مساحة السطح لكل وحدة حجم تنقص بينما الحجم الكلـــي يـــزيد مـــرة أخري، هذه الرموز ربما تكون مألوفة لك، تذوب نفس مكعبات السكر أسرع في مشروب لو الجزئيات الدقيقة أكثر من الكبيرة خلال الجزئـــيات الدقـــيقة مساحة السطح لكل وحدة حجم تكون كبيرة ويسمح هذا بالذوبان بسهولة.

مثال أخر: مألوف لدينا أن الطفل يفقد حرارة أسرع من البالغين بسبب أن مساحة السطح لكل وحدة كتلته أكبر من الكبار. بالرغم من أن المقياس الهندسي أو الايزوميتري مفيد للأشياء الهندسية مثل المكعبات، الجينيوميتر، المثلثات، إلا أن معظم الأشياء البيولوجية لا تستفيد من القياس الهندسي. تحتاج إلي مقياس غير منتظم وبرغم هذا تلاحظ العلاقات البسيطة عبر مدى كبير من الحيوانات مختلفة الأحجام أحد الأدوات المناسبة لوصف هذه العلاقة هي الرسم اللوغاريتمي، الذي فيه الأبعاد التي في مقياس لوغاريتمي جمال هذا المدخل أنه عند اللوغاريتم الطبيعي للعلاقة مثل المعادلة (١) تقوم العلاقة الناتجة بتحولها إلي إنحدار خطى أخذ لوغاريتم المعادلة (١) يعطي المعادلة:

$$A- ax^{b}$$

$$Logy = \log a + b \log x \qquad (5)$$

في هذه المعادلة، لوغاريتم a هو تقاطع y للدالة الخطية، b (أس المعادلة (١) هو إنحدار الخط.

حيث إن المعادلات نسبياً أهل للرؤية، في كونها تزيد الانحدار (b كبيرة) حيث أن التغير التابع يزيد بسرعة استجابة للزيادة في المتغير المستقل. بالمثل، يرسم الإنحدار السلبي في خط الإنحدار بسهولة ويشير الانحدار السالب إلي أن المتغير التابع يقل بينما المتغير المستقل يزيد.

تستخدم هذه الطريقة لأخذ لوغاريتم العلاقة الآسية بإنتظام لوصف الروابط بين الأنظمة البيولوجية التى تتنوع في الحجم، استخدم المقياس اللوغاريتمي أينما توجد اختلافات في الكتلة، الطول والحجم للحيوانات بالآلاف يحول البيانات إلي شكل فيه العلاقة بسيطة شكل (٣) يوضح كيف

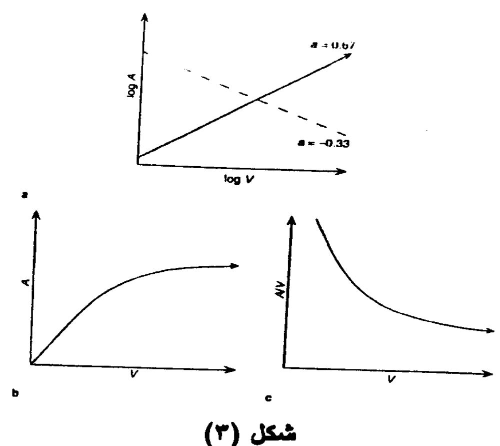
العلاقة بين الحجم– المنطقة، تصبح المناقشة مبدئياً للمكعب إنحدارات خطية بسيطة عندما نرسم علي مقياس لوغاريتمي.

الأمــثلة المشــروحة التالية تساعد في فهم أهمية المقياس في العالم البيولوجــي مع هذا، قبل البحث هذه الأمثلة خمسة علاقات أساسية يجب أن تقرر وهي ترتبط بكتلة الشئ وبعده الخطي.

3
m= I= v
t
I α m
2
A =I
3/2
A =m

هــذه العلاقات لها تأثيرات كبيرة علي قوة وحجم العظام بالنسبة إلي الكتلة وتدعمها.

يمكن فقد كمية حرارة الجسم وكذلك الحدود الأبضية، تنظيم الحرارة ووسائل إمداد الأوكسجين لابقاء علاقات أخري يمكن ان تساعد لتفسير لماذا الأطفال ليس لهم نفس القدرة الوظيفية مثل الكبار.



شكل (٣)

يوضح الوظيفة عندما مساحة السطح لمكعب ترسم كدالة لحجمه، (a) تأخذ العلاقة أشكال مختلفة لو مساحة السطح رسمت لكل وحدة حجم كدالة (b)، لوحظ اللوغاريتم لهاتين العلاقتين حصل عليهما ورسمت (c) علاقة خطية مباشرة يحصل عيها من المنطقة (الخط المتصل) وغير مباشرة توجد للمنطقة لكل وحدة حجم (الخط المنقطع)

تمدنـــا الملاحظة في المملكة الحيوانية بأدلة للتطور داخل التركيبات الـــتى تمكـــن الحيوانات من العمل مع أخطار منخفضة لفشل التركيب كمثال الحـــيوانات الكبيرة مثل الأفيال ووحيد القرن لها أرجل مربعة قصيرة لدعم وزنهـــم الكبير، بينما الحيوانات مثل الوعل والزرافة لهما أطراف أسطوانية طويلة هذه الأنواع لها أجسام قصيرة بالنسبة للارتفاع.

الضـــغط في كثير من النشاطات البدنية، التركيبات في حدود الجسم والفشـــل تمـــثل مشكلة كمثال باترك كاش Patrick Cash أحد أبطال بطولة ويملـــيدون للتنس former wimbledon tennis انقطع وتره أكليس (أكبر وتر

فـــي الجسم عند الكاحل) خلال مباراة تنس طبيعية ربما جسم الإنسان مصمم لتحمل أنواع من الحمل المتوالدة خلال المنافسات الرياضية العالية. أكثر من هـــذا ربمـــا الأنسجة غير قادرة علي التكيف بسرعة كافية للأحمال المنتجة للتنافس في الرياضة الحديثة.

كيف تتنوع قوة العظام؟

الهـــيكل العظمـــي له تركيب مدعم يمنع الجسم من التهاوي ويسهل الحـــركة، حيـــث تعمل المفاصل كنظام روافع تحركها العضلات التى تسمح بنقل ودوران أجزائه، بالإضافة إلي أنه يقوم بالكثير من الوظائف البيولوجية الأخرى مثل تكوين كرات الدم الحمراء وحماية الأعضاء الحيوية (١ : ١٠٩ - ١١٧).

ومن هنا يبرز سؤال مهم كيف يقاس الهيكل العظمي لكتلة الجسم؟

للإجابـــة علي هذا التساؤل نعتبر أن جسم الحيوان أو الإنسان، مدعم علـــي عمودين (الأطراف السفلية) الحمل الكلي الذي يدعم العمودين هو كتلة الجسم (Mb).

لـــو أن القوة العضوية للعظام نفترض أنها ثابتة فإن زيادة القوة يتم الحصـــول عليها بزيادة أبعاد العظام. عرف جاليليو Galileo هذه الحقيقة في أوائـــل القـــرن السادس عشر. لزيادة الأعمدة المدعمة، المقطع فيها يجب أن يتناسب مع الحمل الذي تحمله هذا ما جعل أن الإنحدار اللوغاريتمي يجب أن يكون كبديل، المنطقة المقطعية يجب أن تزيد بالتناسب بينما الجسم يزيد في الكـــتلـــة، كـــل الأبعـــاد الخطية تزيد، لهذا طول العمود يزيد بالنسبة للجسم (معادلة ٦).

الحجم (أو الكتلة معادلة ٦) يجب أن يتناسب منتج المنطقة المقطعية والطـــول. وباختصـــار تتنوع الكتلة الهيكلية بالتناسب مع كتلة الجسم بزيادة

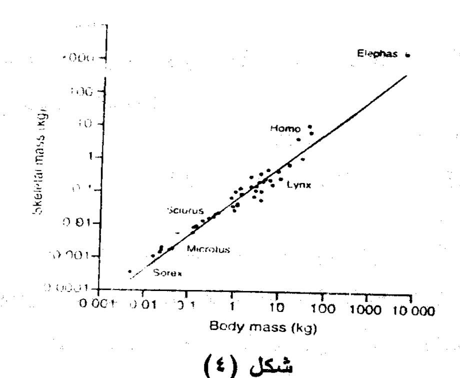
القـــوة ١,٣٣ بمعني آخر لدعم الكتلة الزائدة بدون خطر من الفشل التركيبي، معـــدل الزيادة في الكتلة للهيكل العظمي يجب أن يكون أكبر من معدل زيادة كتلة الجسم كله.

يوضـــح الشـــكل (٤) العلاقـــة بيـــن مدى كتلة الجسم وكتلة الهيكل العظمي. خط إنحدار هذه البيانات هو:

$$Ms= 0.061\ I\ Mb^{1.09} \qquad (7)$$

حيث أن Ms= كتلة الهيكل العظمي (كجم).

إذا أسس المقياس علي متطلبات لتحمل الجاذبية، يبدو من البيانات أن الهيكل العظمي للحيوانات الصغيرة زيادة الأبعاد أو كبديل الحيوانات الكبيرة أقـــل بعـــدا. الأس المتوقع هو ١,٣٣ أكبر من الملاحظ ١,٠٩. بمعني آخر معدل الزيادة في كتلة الهيكل العظمي بينما يزيد كتلة الجسم ليست أعلي من المتوقع علي أساس تحمل حمل الجاذبية.



شكل (٤)

منحنى مدى كتلة الهيكل العظمي كدالة لكتلة الجسم لأنواع الحيوانات في المملكة الحيوانية

العـــالم الشـــهير ماكنيل ألكسندر Mceil Alexander لديه حل ممتاز للتمـــيز الواضح بين النتيجة المتوقعة وبملاحظة البيانات لبرنامج موضح في الشـــكل (٤). أظهر ماكنيل ألكسندر أن أقصي تعب خلال الحركة هو معيار للمقـــياس عن طريق إظهار ذلك التعب خلال الحجل والجري عبر أي مدى كبـــير لأنواع علي نحو ثابت، بين 150.50 MN/ m2 هذا المدى يقترب من القوة النهائية للعظم ويشير إلي أن هذا الأساس المحتمل للمقياس وليس للكتلة التى ترتكز علي مقاومة الجاذبية.

مـــن هـــذه الـــنظرية المبنية علي ملاحظة البيانات حجم الأسطوانة يتناســـب مـــع مـــربع نصف قطرها وطولها باستخدام هذه المسلمة وبيانات ماكنيل ألكسندر الذي أوجد أن أطوال الرجل تتعلق مع

$M_b^{0.33}$

وأن قطر العظمة يتعلق ب

$M_b^{0.35}$

ووجـــد بـــروس وآخرون Bruce et. Al (١٩٩٧م) أن كتلة الهيكل العظمي ستقاس نسبيا بالمعادلة:

$$M_b^{1.07} = [(M_b^{0.35} \times M_b^{0.36})]^{2}$$ (١٦٢:٢)

هذا النموذج يتفق مع البيانات الموجودة في الشكل (٤)

كيف يتأثر الأيض بالحجم؟ How is metabolism influenced by size

جمعت البيانات الهامة المتعلقة بمعدل الأيض (التمثيل الغذائي) وكتلة الجســم ونشــرت. بالرغم من ملاحظة أن الكائنات تستخدم الطرق الأبضية الهوائــية والاهوائــية، إلا أنه عامة الطرق المقبولة لتقييم معدل الشكل (٥) (المنحــنى المشــهور المعروف الفأر- والفيل والمعدل لبندكت Benedict (١٩٣٨م).

ترتبط كتلة الجسم بمعدل الأيض لأنواع من الثدييات فوق ٢٠٠٠٠٠ مرة (كتلة الفيل أكبر ٢٠٠٠٠٠ مرة من كتلة الفأر). الانحدار الخطي ٠,٧٥ مما يعني أن معدل الأيض يتناسب مع $M_b^{0.75}$

طريقة ابسط لترجمة هذه العلاقة هي ملاحظة أن معدل الأيض كتلة الجسم بأسرع من ما يمكن (٢: ١٦٥، ٦٦).

لــو اعتبرنا أن الهدف الأول المحافظة علي درجة حرارة الجسم في الثدييات، إذن نتوقع إن استهلاك الأوكسجين يرتبط بمساحة سطح الجسم. بما أن مساحة السطح تتناسب مع I^{2} أو $M_b^{2/3}$

المعادلـــة (٦) حيـــث أن 1 = البعد الخطي للجسم، إذن نحن نتوقع أن معدل الأيض يجب أن تتناسب مع

$$M_b^{2/3}$$

حيـــث أن الحيوانات الأصغر التى لها سطح كبير يتناسب مع كتلتها سوف تمتلك أعلي معدل أيض في الراحة أكثر من الحيوانات الكبيرة التى لها مساحة سطح صغير (بالنسبة لكتل أجسامها).

مع ذلك البيانات لا تدعم بدقة التوقع الجبري. الإنحدار المتوقع علي أســـاس مســـاحة السطح هو معياري ٠,٦٦ لكن البيانات الملحوظة للإنحدار ٠,٧٥.

ما هو السبب الحيوي للاختلاف بين الملحوظة والمتوقع؟

بـــدون الدخـــول في تفاصيل حسابية، من الكافي ان نعرف أن الحل المنطقـــي موجود. لو أستخدم التشابه المطاطي وليس الاعتبار الهندسي في القياس. يتم موافقة النموذج النظري للبيانات الملحوظة. التشابه المطاطي هو التشـــابه بيـــن تركيب في الحيوانات التى تتهدد بنفس الخطر المطاطي تحت وزن أجســـامهم باســـتخدام هـــذا المعيار وليس الهندسي يشير إلي إن معيار الطول (L) بالنسبة إلي

$$M_b^{3/8} = M_b^{3/4}$$

هذه البيانات المحدودة تتناسب تقريبا مع النظرية. والخلاصة المعيار للتشابه المطاطي يبدو أنه يمد قاعدة حيوية لمعدل الأيض لكتلة الجسم وجميع نتائج البحث من قياسات فسيولوجية أخرى مثل معدل ضربات القلب وتكرار التنفـــيس تدعم هذا النموذج، ويلاحظ أن البيانات أظهرت توافق مناسب مع

النموذج النظري في الواقع تظهر الأحداث الحيوية أساسا أنها تتبع قوانين فيزيائية / ميكانيكية.

*** التأثير خلال النمو Implication during growth**

استخدم القياس الجبري وسيلة مفيدة للحصول علي رؤية نحو مدى تغير القوة خلال النمو كتتابع للتغير في أبعاد الجسم.

مثال بني علي أساس نوعين من الأفراد من حجم مختلف لتوضيح بعض الأفكار المفيدة. أعتبر طفل طوله ١٠٠ سم وآخر ١٥٠ سم، ارتفاعهما بنسبة ١ : ١,٥ الدموية والممرات الهوائية تكون ١ : ٢,٢٥ بينما الحجوم بمقياس ١ : ٣,٣٧٥ في الطفل الأطول تكون المناطق المقطعية أكبر من الطفل الأقصر. بهذا الشخص الصغير بكتلة ٢٠ كجم يكون الطفل الأكبر بكتلة ٦٧,٧٥ كجم (٣,٧٥ × ٢٠ كجم).

نتوقع باستخدام هذه النسب أن الشخص الكبير يكون قادرا علي رفع ٢,٢٥ مرة أكثر من الشخص الصغير بما أن قوة العضلات متناسبة مع المقاطع تكون أقدر ٣,٧٥ ذلك في حالة أداء الرافعات ينعكس الموقف والشخص الكبير يتم إعاقته بكتلة إضافية في الواقع في مثل هذه المناشط المقياس يتناسب بعكس الارتفاع.

لذلك لو كان ارتفاع الشخص الأصغر يعتبر القوة لكل وحدة واحد للشخص الأطول الذي يزيد ١,٥ مرة تكون القوة لكل وحدة كتلة إلي الثلثين (١/ ١,٥).

يتناسب تكرار الحركة تناسبا عكسيا مع الطول وهو ثابت في المشاهدات اليومية، يستخدم الشخص الطويل البالغ خطوات أطول بمعدل أقل من القصي (الطفل). هناك أسباب طبيعية جيدة لكيفية تناسب التكرار عكسيا مع طول الخطوة. فكر في الموقف التالي: لو طوحت عصا طويلة مشابهة

للعظام الطويلة في الجسم وتحركت بنفس التردد قصورها الذاتي يسبب فشلها لهذا السبب الإنسان لا يمكنه تحريك طرفه مثل الحيوانات الصغيرة كالطائر والفأر وحتى لو العضلات يمكن تغيرها لتسمح بحركة متوسطة ٢٥% زيادة في السرعة، العظام وربما الأنسجة الرخوة تفشل.

توقـــع آخـــر مبني علي أساس مقياس أبعاد الجسم يتعلق بأداء القفز تناســـب القدرة علي رفع مركز ثقل كتلة الجسم مباشرة مع القوة التى تنتجها العضـــلات والمســـافة الـــتى خلالها تنقبض وترتبط عكسيا مع وزن الجسم باســـتخدام العلاقـــات السابق شرحها، يكون أداء الوثب لا يعتمد علي الحجم بســـبب أن القـــوة تتناســـب مع مربع الطول ($f \alpha L$) لذلك القوة في المسافة مقسومة علي الكتلة تعطى نسبة واحد.

$$\frac{F \cdot s}{m} = 1$$

فـــي أنواع مختلفة من الحيوانات هذه العلاقة تبدو حقيقية بالرغم من أن الحـــيوانات الطويلة لها ميزة بسبب أن مركز ثقلها مرتفع عن الحيوانات الصـــغيرة. يتميز الذين يملكون أطراف سفلية طويلة وكتلة جسم لم تتجاوز مكعب الطول ($L\ 3$)، ولكن مع تناسب سفلي، يجعلهم طوال بالنسبة لوزنهم. لهذه الأسباب البالغين لهم ميزة عن الأطفال بخصوص أداء الوثب العالي.

*** الارتباك البلوغي Adolescent awkwaedness**

يـــتفق الكثـــير من الأفراد علي أن المراهقين يفقدون قوتهم في هذه المـــرحلة مـــن مـــراحل النمو وخاصة الذكور. أهتم الباحثون بهذه الظاهرة لســـنوات تعود إلي ١٩٢٠ أعطى البحث المنظم لعينة كبيرة من التلاميذ في السبعينات والثمانينات بيانات كمية عن الارتباك البلوغي والذي نلخصها فيما يلي:

خــلال المــراهقة، يوجد تغير كبير في حجم وقوة العضلة والعظام ويفــترض حــدوث ذلــك بسبب التغير السريع في أبعاد الجسم الأداء للمهام الحركية التى تتطلب قوة، إقلال القدرة والتوافق.

*** ويشتمل الأساس لهذا الافتراض:**

١- بســبب زيادة الطول والكتلة تتسبب في كبر عزم القصور الذاتي ويؤدي ذلك إلي الارتباك.

٢- بســبب تأخر زيادة حجم وقوة العضلة بالنسبة إلي النمو الهيكلي، يصبح الأداء في المناشط التي تتطلب القوة والقدرة صعبا.

خــلال هذه الافتراضات الأدلة محل شك. أشارت الدراسات التى تم تنفــيذها علـــي هذا الموضوع إلي أن نسبة ذات دلالة إحصائية من الأولاد أظهـــرت نقص في الأداء، خلال فرط النمو للمهارات الحركية التى تتطلب حركات فيها يبذل الشغل مقابل مقاومة من وزن الجسم نفسه. مع ذلك يوجد نسبة صغيرة من الأولاد أظهروا نقصا في الأداء في المهام المميزة بالسرعة مثل الوثب العمودي. وخلال النمو الفرط يكون ذو علاقة مباشرة إيجابية بين القوة والسن بالإشارة إلي أن القوة المطلقة تزيد ومع ذلك بسبب النمو الهيكلي الذي يسبق الجسم نفسه تتأثر سلبيا.

أي نقـــص في الأداء يحدث خلال مرحلة فرط النمو مؤقت ولا يؤثر علـــي الأداء علـــي هذه المهام مثل البالغين. من المسلم به أنه غالبا التوافق والحركة والثبات يقل خلال سنوات سرعة زيادة الطول بنسبة صغيرة (١,٦ %) إن أغلـــب الأولاد (٩٨,٤%) يتحسن توافقهم الحركي خلال فرط النمو، ويستمر هذا التحسن خلال السنوات الأولي من البلوغ.

والخلاصـــة، مفهوم الوعي البلوغي معقد بسبب أن الطرق التى فيها تحـــدد وبسبب أن الأفراد يظهرون نقص في الأداء علي بعض المهام عكس

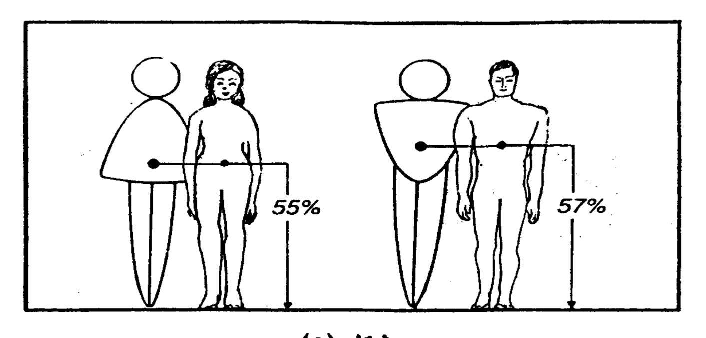
الآخريــن. ومــع ذلك من المهم أن نتذكر أن أغلب المراهقين يتحسنوا في الــتوافق والقوة خلال فرط النمو. لا توجد أدلة لفرض أن ملاحظة الارتباك البلوغـــي مقيدة بالرغم من الإشارات القليلة لفقد التحكم الحركي خلال النمو للنبات.

* **أختلافات الجنس Sex difference**

معلومــات قلــيلة مــتوفرة علي الاختلافات بين الذكور والإناث في الممــيزات للقصور الذاتي وتغير مقاييس البيوميكانيكيا في الحياة. أوضحت الذكور أنها أكثر كتلة ولهم أطراف أطول من الإناث لكن أبحاث قليلة متوفرة أظهــرت لهــا إختلافات بين كتل أجزاء الجسم المختلفة المسافة بين مركز الكتلة أو محور الدوران.

أحــد المميزات الحاسمة في البيوميكانيكا أنه من الواضح الاختلاف بين الجنس في وضع مركز ثقل الجاذبية. عند التعبير عن ارتفاع مركز ثقل كتلة الجسم بنسبة مئوية يكون في الذكور والإناث ٥٧%، ٥٥% علي التوالي أنظر الشكل (٦).

هــذه الإختلافات تعكس إختلافات توزيع الكتلة بين الذكور والإناث، الذكــور عــادة يكونوا أكبر في الأكتاف والصدر ولكن في المعني المطلق، الإنــاث عريضــة الحــوض. إذا كان لهذه الاختلافات أي تأثير علي الأداء الحركي فهو أمر غير مثبت نظريا، الإناث مع مركز جاذبية منخفض يكونوا أكثر ثباتا في المواقف الثابتة عن الذكور حيث أن ٢% اختلاف تعطي ميزة وظيفية غير محددة.



شكل (٥)

موضع مركز ثقل كتلة جسم الذكور ٥٧% والإناث ٥٥%

المراجع

١- عادل عبد البصير علي : (١٩٩٩م)، الميكانيكا الحيوية والتكامل بين النظرية والتطبيق، الطبعة الثانية، مركز الكتاب للنشر، القاهرة.

٢- عادل عبد البصير علي : (٢٠٠٠م)، التحليل البيوميكانيكي لحركات جسم الإنسان (اسسه وتطبيقاته)، المطبعة المتحدة سنتر، بورفؤاد- بورسعيد.

3- Bruce A., Vaughan K., laurel : (1997), The Biophysical foundation of Human Movement, Humane Kinetics united states of America.

4- Cavagen, G. A and M. Kaneko : (1977), Mechanical work and efficiening .j. Physiol., (London).

5- Schmidt Nelson. K : (1991), Scaling why is Animal size so important university press, Cambridge.

6- Whipp, B.J., and : (1973), The Mechanical efficiencies of running and bicycling against horizontal impeding force. Int. Z. Angew. Physiol (31).